

[Translation]

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) PATENT ISSUANCE REPORT (A)

(11) Patent Application Release No.

Patent Release **Hei. 6-275568**

(43) Release date: September 30, 1994

(51) Int.Cl. ⁵	Ident. Symbol	Office Control No.	F1	Technology Indicators
H 01 L 21/302		F 9277-4M		

Examination requested: Not yet
Items in Application: 3 OL (Total 7 pages)

(21) Application No.: Patent Application Hei.5-60755

(22) Application date: March 19, 1993

(71) Applicant: 000002185
SONY, Ltd.
7-35 6-chome Kita-Shinagawa
Shinagawa-ku, Tokyo [Japan]

(72) Inventor: Shingo Kadomura
c/o SONY, Ltd.
7-35 6-chome Kita-Shinagawa
Shinagawa-ku, Tokyo [Japan]

(74) Agent: Akira Koike (& 2 others)

(54) Name of Invention: Dry-etching Method

(57) Summary

Purpose: To etch SiO₂ layers while sustaining a high electivity ratio toward Si₃N₄ layers.

Makeup: With a dry-etching device that can create high-density plasma in which the ion density is 10^{11} ions/cm³ or more, one uses a fluorocarbon (FC) gas represented by the general formula $C_x F_y$ (with y equal to or less than $x + 2$). As the dissociation proceeds to a high degree in the gases in such high-density plasmas as ECR plasma and the like, CF^+ is yielded with good efficiency from C_6F_6 gas that could only deposit carbon-system polymers with the usual RF plasmas, making it possible to do high-speed etching of insulative film 4 between silicon dioxide layers. On the other hand, since the above-noted FC gas has a large C/F ratio, it does not produce excessive F^+ , and high selectivity is obtained toward underlying Si_3N_4 film 3. Conversely, when etching a silicon dioxide layer with the Si_3N_4 layer as a mask, high mask selectivity is obtained.

Scope of Patent Application

Application Item 1: In an etching device capable of producing plasmas of a high-density of 10^{11} ions/cm³ or more, a dry-etching method characterized by causing the production of etching-gas plasmas that are mainly fluorocarbon chemicals expressed in the general formula $C_x F_y$ (with x and y being natural numbers satisfying the relation of y being equal to or less than $x + 2$) and characterized by selectively etching the layer of silicon oxide-system material formed on a layer of silicon nitride system material.

Application Item 2: In an etching device capable of producing plasmas of a high-density of 10^{11} ions/cm³ or more, a dry-etching method characterized by producing an etching-gas plasma in which a fluorocarbon system compound expressed by the general formula $C_x F_y$ (with x and y being natural numbers satisfying the relation of y being equal to or less than $x + 2$) has as its main component the fluorocarbon compound, and characterized by etching layers of silicon oxide material while using as a mask a layer of silicon nitride material patterned in a prescribed shape.

Application Item 3: The dry-etching method described in either of Application Items 1 or 2, which is characterized by the above-noted fluorocarbon system compound being a hexafluorocarbon.

Detailed Explanation of Invention

0001 Field for Commercial Utilization: This invention relates to dry-etching methods applied in such fields as the manufacture of semiconductor devices, and in particular bears on a method of etching while securing a high selectivity rate between layers of silicon nitride-system materials and silicon oxide-system materials.

0002 Usual Technology: For the component materials of interlayer insulating films in silicon devices, silicon compound layers are generally used. Among those the most widely used is silicon oxide (SiO_x , typically with $x = 2$). At this time, the dry etching of SiO_x interlayer insulating film is a technique that has matured for application mostly to 64K DRAM production and even for mass-production lines.

0003 The above-noted dry etching has from the outset used as its etching gas mainly components of such fluorocarbon compounds as CHF_3 and CF_4/H_2 , CF_4/O_2 or $\text{C}_2\text{F}_6/\text{CHF}_3$ combinations. This is due to such reasons as (a) carbon atoms contained in fluorocarbon compounds produce a strong bonding energy between atoms on the surface of the SiO_x layer and work to break or weaken the Si-O bond; (b) they can produce CF_x^+ (typically, $x = 3$) the main source for etching SiO_2 layers; and (c) by controlling the C/F ratios (the ratio of C and F atoms) in the etching-reaction system it can optimize the amount of carbon polymer deposited and attain high selectivity toward resist masks and underlying layers.

0004 What I here call the underlying layers indicates mainly the silicon substrate, polysilicon, polycide [sic] film, etc.

0005 Silicon nitride (Si_xN_y , especially when $x=3$ and $y=4$) also is an insulating-film substance applied in silicon devices. With dry etching of Si_xN_y layers, too, basically the same gas components are applied as in the etching of SiO_x layers. However, whereas SiO_x layers are etched mainly by the mechanism of ion-assist reactions, Si_xN_y layers are etched based on the radical-reaction mechanism making F^+ the main source of etching; and the etching rate are also is faster than with silicon dioxide layers. This can be predicted to some degree by the fact that the bonding energy relationships between atoms is Si-F (553kcal/mole) > Si-O bond (465 kJ/mole) > Si-N bond (440kcal/mole).

0006 Some differences emerge from the calculating methods in the atomic bonding energy; but here I am citing data recorded in R.C. Weast's "Handbook of Chemistry and Physics," 69th ed. (1988), CRC Press, California.

0007 Now, among the manufacturing processes for silicon devices there are several requiring high-selectivity etching between SiO_x and Si_xN_y layers. For instance, the etching of an Si_xN_y layer on top of an SiO_x layer is done under the LOCOS method in patterning to define element-separation regions. Under current conditions, where pad oxide films (SiO_2) for holding Barr's peak [Assumed from Japanese phonetics, Could also be buzz peak. -- Translator] lengths to a minimum are made as thin films, the above-noted etching is a process requiring particularly high selectivity toward the underlying SiO_x layer.

0008 Also, in recent years, as devices have become tinier and more complex, there are increasingly cases in which Si_xN_y layers are formed as etching-blocker layers in a variety of places to prevent etching damage, thus giving rise the need also for highly selective etching of SiO_x layers on Si_xN_y layers. For example, to reduce substrate damage when over-etching a thin Si_xN_y layer is interposed on the substrate surface, or a gate-insulating film having a so-called ONO structure (SiO_x layer/ Si_xN_y / SiO_x layer) is formed. Or, in cases when an Si_xN_y layer is laminated on the surface of a gate electrode, the etching of an SiO_x layer done on this must be reliably halted.

0009 And yet, to do highly selective etching between laminated layers of differing substances it generally is desirable to have some degree of difference in the atomic-bonding energy of both layers. But, with SiO_x and Si_xN_y layers the atomic bonding

energies of the Si-O and Si-N are comparatively close, making it intrinsically difficult to do highly selective etching between the two.

0010 Various places have for some time been pushing the development of techniques for making selective etching possible.

0011 We have several reports on techniques for etching Si_xN_y layers on SiO_x layers. For instance, this inventor reported in Patent Report Release Sho. 61-142744 a technique for using etching gas that combines CO_2 at 30~70% mole ratio with such gases as CH_2F_2 in which the C/F ratio (ratio of carbon and fluorine atoms in a molecule) is small. Gases with small C/F ratios can yield CF_x^+ (especially when $x=3$), the etching element for SiO_x layers only by re-combination of the F^+ ; but when a large quantity of CO^+ is supplied into this system and it captures and removes F^+ in the form of COF , the amount of CF_x^+ produced is reduced and the etching rate of the SiO_2 layer declines. On the other hand, Si_xN_y can be etched with F^+ as the main etching element, so that the etching rate scarcely changes even if the CF_x^+ declines due to a large amount of CO_2 introduced. In this way, selectivity can be obtained between both layers.

0012 Also, in "Proceedings of Symposium on Dry Process" 88:7, pp. 86-94 (1987) a technique is reported for supplying NF_3 and Cl_2 into a chemical dry-etching device and using FCl formed in that atmosphere by a microwave discharge to etch an Si_xN_y layer on SiO_x . Whereas the Si-O bond includes 55% ion bonding, for the Si-N bond it is 30%, making the common [shared] bonding ratio high. I.e., the nature of the chemical bond in the Si_xN_y layer is close to that of the chemical bond (common bond) in monocrystalline silicon, and such radicals as the F^+ and Cl^+ produced by dissociation from the FCl do the etching. However, since SiO_x layers are scarcely etched by these radicals, highly selective etching becomes possible.

0013 Issues the Invention Seeks to Resolve: As discussed above, a number of techniques for selective etching of Si_xN_y layers on SiO_x layers have been reported. This is natural, in a sense, when one considers the etching rate of both layers. That is because with a process that relies mainly on radical reactions, if the SiO_x layer is exposed during the etching, the etching rate naturally slows down.

0014 However, there are problems also with the usual technology. For instance, in the above-discussed process using FCl , the anisotropic processing is essentially difficult because of using the radical reactions.

0015 On the other hand, because securing selectivity is difficult as compared to the reverse case, we have few examples of any reports. That is because even though SiO_x layers are etched by mechanisms making ion-assisted reactions primary, radicals are inevitably created in that reaction system; and at the point when Si_xN_y becomes exposed these radicals raise the etching rate of the underlying layer.

0016 Quite recently, techniques are being proposed that achieve this using a high-density plasma that reduces the amount of radicals produced by using a new plasma source. For

instance, in "Proceedings of the 43rd Symposium on Semiconductors and Integrated Circuit Technology," p. 54 (1992), there is introduced an example of a process that uses C_2F_6 (hexafluoroethane) to etch an SiO_2 layer formed by the TEOS-CVD method on an Si_3N_4 layer formed by the LPCVD method using an induction-coupled plasma of C_2H_6 gas. In high-density plasma, gas dissociation proceeds at a high rate, so that it is thought that the C_2F_6 is nearly all broken down into small CF^+ ions and that this contributes to the etching. Also, carbon atoms in the low C/F ratio fluorocarbon-system polymer deposited at this time couple more easily to the atoms in the SiO_x than do the nitrogen atoms in the Si_xN_y , so that they are removed at the surface of the SiO_x layer but deposit on the Si_xN_y . This is thought to be the mechanism that attains selectivity.

0017 This technique is rather promising, but falls short in not readily achieving stable selectivity. For example, the selectivity ratio in the above-discussed process is reported to be very large on the flat areas, but 20 or more in the corners. The scatter of such selectivity on the surfaces is considered to be due to the contribution of the F^+ produced as a result of C_2F_6 dissociation proceeding quickly. So, this invention has the goal of providing a method of dry-etching SiO_x layers that can secure a stable high selectivity ratio for Si_xN_y layers.

0018 Means to Resolve the Issue: This invention's dry-etching method is proposed after reflecting on the above-described goal and is one which, in an etching device capable of creating a plasma with an ion density of 10^{11} ions/cm³ or more, selectively etches SiO_x -system substance layers formed on Si_xN_y -system substance layers by creating etching-gas plasmas that are mainly fluorocarbon-system compounds expressed by the general formula C_xF_y (with x and y being natural numbers and satisfying the relationship of y being equal to or less than x+2).

0019 What I here call high-density plasma is a plasma made by some means or another to increase the frequency of collisions between electrons and atoms compared to the usual type of plasma. What I mean by the usual type of plasma is that, for instance, which is excited by impressing RF power between parallel plate electrodes to cause a glow discharge or by supplying microwave to a waveguide. By contrast, high-density plasma is that which promotes a high degree of gas dissociation by using electron cyclotron resonance based, for instance, on the interaction of microwave fields and magnetic fields, or by using microwave propagation modes in a magnetic field, called a whistler mode, thus achieving high ion density.

0020 As concrete examples of plasmas having ion densities of 10^{11} ions/cm³ or more, one knows of ECR plasma, helicon-wave plasma, ICP (inductively coupled plasma, TCP (transformer coupled plasma), holo-anode [Assumed from Japanese phonetics.--Translator] type plasma, helical resonator plasma, etc.

0021 Also, as is evident from the general formula for the above-noted fluorocarbon-system compounds, they are unsaturated compounds. Carbon frames of either chain or annular form can meet this requisite. However, if the number of carbons is somewhat greater and in chain form, it will necessarily have to have structure of multiple over-

lapping bonds or multiple conjugated bonds, condensed rings, multiple rings, spiro-rings or ring collections.

0022 As examples of fluorocarbon-system compounds meeting such requisites, one can cite tetrafluoro-ethylene (C_2F_4), hexafluorobutadiene (C_4F_6), tetrafluoro-cyclopropane ($c-C_3F_4$), hexafluoro-cyclo-butane ($c-C_4F_6$), hexafluorobenzene (C_6F_6), octafluoro-cyclobutatriene ($c-C_7F_8$), octafluoro-bicyclo[2.2.1]-heptadien (C_7F_8), etc.

0023 This invention also is one that, in an etching device capable of producing plasmas of a high-density of 10^{11} ions/cm³ or more, produces an etching-gas plasma in which a fluorocarbon system compound expressed by the general formula $C_x F_y$ (with x and y being natural numbers satisfying the relation of y being equal to or less than $x + 2$) has as its main component the fluorocarbon compound and does etching of layers of silicon oxide material while using as a mask a layer of silicon nitride material patterned in a prescribed shape.

0024 This invention furthermore is one that uses hexafluorobenzene for its above-noted fluorocarbon-system compound.

0025 Effects: When one forms a high-density plasma with an ion density of 10^{11} ions/cm³ or more using an etching gas that is mainly a fluorocarbon-system compound, even under low pressure in comparison to usual RF plasmas, the fluorocarbon-system compound's dissociation proceeds; and large amounts of CF_x^+ (but mostly $x=1$) are produced with good efficiency. While being assisted by this richness of ions, the silicon-compound layer is being etched at a practicable rate.

0026 However, if large amounts of F^+ are produced along with large amounts of CF_x^+ , that will cause selectivity toward the Si_xN_y layer to drop. So, to keep excessive F^+ from forming in the plasma, in this invention one uses compounds with less C atoms than F atoms—i.e., fluorocarbon compounds with molecules whose C/F ratio is large as the main components of the etching gas. In the case of this invention, the number of F atoms y will at most be twice the number of C atoms x , so that if—to simplify things—one thinks of x number of CF^+ being produced from one molecule, a maximum of two F^+ will be produced.

0027 With this invention, since one uses such fluorocarbon-system compounds to etch SiO_x -system layers on Si_xN_y layers, there is no risk of the exposed surface of the Si_xN_y layer being exposed to high densities of F^+ . So, that means that high underlying-layer selectivity is achieved with respect to the underlying Si_xN_y layer. This principle holds exactly true also when, conversely, one is using an Si_xN_y layer patterned in a prescribed shape as the etching mask for its underlying SiO_x layer, achieving high mask selectivity.

0028 Now, I plan with this invention especially to use hexafluorobenzene (C_6F_6) as the above-noted fluorocarbon compound; because this is stable, easy to handle, has a large C/F ratio of 1, etc. There have earlier been tests on using C_6F_6 in etching layers of SiO_x -system material. But, as described for instance in Patent Report Hei.1-60938, since it

forms large amounts of CF_3^+ and CF_2^+ when used alone and interferes with the progress of the etching reaction, it has not been practical. In the above-noted Report, because of this interference with carbon-system polymers, one resolves the problem by using a gas in which CF_4 is admixed 1:1 with the C_6F_6 .

0029 However, because with this invention the C_6F_6 is dissociated into CF^+ in the high-density plasma, there is no fear of carbon-system polymers accumulating excessively. Moreover, even if the bonds between carbon & carbon should all be broken and six CF^+ were produced from each molecule, in theory not a single F^+ would be produced, and high selectivity would obtain with the Si_3N_4 -system layer. Also, from the aspects of stability, control, etc., one can call the point that highly selective etching is realized with a single-gas system an advantage of this invention.

0030 Application Examples: Below, I will explain concrete examples of applying this invention.

0031 Application Example 1: This application example is a case of using magnetic-field microwave plasma etching with C_6F_6 gas to open a contact hole by etching an SiO_2 interlayer insulating film having an underlying Si_3N_4 film. I will explain this process while referring to Figure 1.

0032 As shown in Figure 1(a), one first forms Si_3N_4 under-film 3 10nm thick, for instance by PCVD, on silicon substrate 1 on which impurity diffusion region 2 has been formed in advance, and then uses CVD at normal pressure to form SiO_2 interlayer-insulating film 4 1000nm thick. One further applies onto above-noted SiO_2 interlayer insulating film 4 the Novolak [Assumed from Japanese phonetics.-- Translator] positive photo resist TSMR-V3 (commercial name, from Tokyo Oyo Kagaku Co.) and uses i-beam lithography and alkali development to form resist mask 5 having 0.35 μm diameter opening 6.

0033 This wafer is set on the wafer-mounting electrode of a magnetic-field microwave plasma etching device and, for instance under the conditions listed below, has its SiO_2 interlayer insulating film 4 etched.

C_6F_6 flow rate:	20 SCCM
Gas pressure:	0.65 Pa
Microwave power:	1500W (2.45GHz)
RF bias power:	200W (800 kHz)
Wafer-mount temp.	20° C

0034 Here, the C_6F_6 dissociation proceeds by applying high microwave power and doing an ECR discharge, creating a high-density plasma on the order of an ion density of 10^{11} ions/ cm^3 . In the above-noted etching process the etching of SiO_2 interlayer insulating film 4 proceeds at a high rate due to the large amount of CF^+ produced in this high-density plasma. Also, even at the point when underlying Si_3N_4 film 3 is exposed, high

selectivity toward this film is attained because excessive F^+ is not produced in the plasma. Of course, the selectivity also is good for resist mask 5.

0035 This etching resulted in contact hole 7 being formed with an anisotropic shape as shown in Figure 1(b) without corroding Si_xN_y under-film 3 exposed on its under surface.

0036 In this etching process, some accumulation of carbon-system polymer, not illustrated, can be seen. This polymer is removed by the combustion effect of oxygen atoms sputtered out from the etched region of SiO_2 interlayer insulating film 4; but this contributes to protecting the surface of resist mask 5, the sidewalls of contact hole 7 and the exposed surface of Si_3N_4 under-film 3.

0037 In any case, however, it does not obstruct the etching progress by accumulating large amounts of carbon-system polymer as in the usual case.

0038 Next, the wafer is transferred to a plasma ashing device, and oxygen-plasma ashing is done under the usual conditions, removing resist mask 5 as shown in Figure 1(c). At this time the carbon-system polymer, not shown, that contributed to protecting surfaces and sidewalls is simultaneously removed.

0039 Finally, the wafer is immersed in hot phosphoric acid and under-film Si_3N_4 exposed at the bottom of contact hole 4a is dissolved and removed, as Figure (d) shows. Through the above-noted processes one can form contact hole 7, with a good anisotropic shape without damaging impurity diffusion region 2 or causing particle contamination.

0040 Application Example 2: This application example is one done by using an ICP etching device and C_6F_6 gas to etch SiO_2 interlayer insulating film in the self-aligning contact process for forming the connections of a memory node and the gate electrode of a TFT for the negative charge of an SRAM. I will explain this process while referring to Figure 2.

0041 Figure 2(a) shows the makeup of the wafer used as an etching sample in this application example. This wafer is one on which gate oxide film 13 is formed on silicon substrate 11 by surface oxidation, and on this are patterned two gate electrodes 16 of the driver transistor and Si_3N_4 etching-stopper layer 17 for protecting these gate electrodes 15 from a later etching process. The above-noted gate electrodes 16 consist—in order from their lowest layer—of polysilicon layer 14 and tungsten silicide (Wsi_x) layer 15 laminated with a tungsten polycide film. On both sides of gate electrodes 16, sidewalls 18 of SiO_2 are formed by an etching process; and impurity diffusion region 12 is formed with an LDD structure in silicon substrate 11 by two ion injections using above-described gate electrodes 16 and sidewalls 18 as a mask.

0042 SiO_2 interlayer insulating film 19 is deposited, for instance by the CVD method, over the entire surface of this wafer, and resist mask 20 is formed in a prescribed pattern on top of that. This resist mask 20 covers part of both gate electrodes 16 and has an

opening 21 at their middle region. Inside this opening 21, SiO₂ interlayer insulating film 19 is etched as far as the impurity diffusion region to form a contact hole.

0043 The above-noted wafer is set in an ICP etching device and, as one case, SiO₂ interlayer insulating film 19 is etched under the following conditions:

C ₆ F ₆ flow rate:	20 SCCM
Gas pressure:	0.65 Pa
RF source power:	2500W (2 kHz)
RF bias power:	50W (1.5 MHz)
Wafer-mount temp.	0° C

In this process the etching proceeds on SiO₂ interlayer insulating film 19 with a CF⁺ etching agent from high-density plasma on the order of 10¹¹ ions/cm³ created in an ICP etching device. As shown in Figure 2(b), the result is that SiO₂ interlayer insulating film 19 and part of gate SiO₂ film 13 are removed and contact hole 22 is completed, while still another sidewall 19a is formed on the previously formed sidewall 18.

0044 Now, during this etching Si₃N₄ etching-stopper layer 17 becomes exposed; but—as already explained for Application Example 1—the dissociation of the C₆F₆ proceeds at a high rate and the amount of F⁺ produced in the plasma is small, so that an adequately large selectivity is sustained toward Si₃N₄ etching-blocker layer 17. Hence, one is able to avoid damage to gate electrodes 16 even when etching the high steps of SiO₂ interlayer insulating film 19.

0045 Comparative Example: Here, I will explain, as an example for comparison with Application Example 2, a case of using the ICP etching device and C₆F₆ gas to form self-aligning contacts of the same SRAM. First, one sets the same kind of wafer as that shown in Figure 2(a) into the ICP etching device and etches SiO₂ interlayer insulating film 19 under the following conditions, as one example:

0046

C ₆ F ₆ flow rate:	20 SCCM
Gas pressure:	0.65 Pa
RF source power:	2500W (2 kHz)
RF bias power:	50W (1.8 MHz)
Wafer-mount temp.	0° C

0047 In this process, CF⁺ of course is created through high-efficiency dissociation, while F⁺ is produced at the same time, reducing the selectivity toward Si₃N₄ etching-stopper layer 17. As shown in Figure 3, the result is that gate electrodes 16 under the corroded Si₃N₄ etching-stopper layer 17b also are partially corroded, and the cross-sectional shapes of sidewalls 18b and 19b each deteriorated.

0048 In the foregoing I have explained this invention on the basis of two application examples; but this invention is not limited to these examples. For example, with the

above-discussed application examples I took up the ICP device and ECR plasma as the high-density plasma; but one might also use any plasma such as a halo-anode type plasma with 10^{12} ions/cm³, a helicon-wave plasma or TCP that have been reported with an ion density on the order of 10^{12} ~ 10^{13} ions/cm³.

0049 Using as the etching gas the fluorocarbon-system compound C_xF_y also is not limited to the above-discussed C_6F_6 , but could consist of any compound that meets the condition of y being equal to or less than $x + 2$, also being capable of existing stably and also being easily introduced into the etching chamber in a gaseous state.

0050 Again, as other processing examples that may be applied there are such ones as the etch-back of an SiO_2 interlayer insulating film on a triple-layer gate insulating film having an ONO structure ($(SiO_x/Si_xN_y/SiO_x)$). This is a process for forming sidewalls on the side surfaces of gate electrodes, and in such case the etch-back can be halted with high selectivity on Si_3N_4 film between the gate insulating films.

0051 Needless to say, the etching conditions and etching devices can be appropriately altered.

0052 Effectiveness of Invention: As is clear from the above explanations, high C/F-ratio fluorocarbon compounds that in the past could not be used because they produced too much carbon-system polymer can, with the dry-etching method of this invention, be dissociated to a high degree in high-density plasmas by using them as the main component of the etching gas. Moreover, such fluorocarbon-system compounds do not excessively produce F^+ under the conditions for discharge dissociation so that it becomes possible to achieve selective etching between the SiO_2 material layers and Si_xN_y material layers.

0053 Consequently, this invention is applicable to the manufacture of semiconductor devices that are highly integrated and high function, designed on the basis of minute design rules, and so has a very great value in their industry.

Simple Explanation of Figures

Figure 1 is a schematic cross-sectional diagram showing in processing order an example of applying this invention to contact-hole processing. Shown respectively are (a) the situation where a resist mask has been formed on an SiO_2 interlayer insulating film, (b) the situation where the etching of the SiO_2 interlayer has stopped at the underlying Si_xN_y , (c) the situation where the resist mask has been removed by ashing, and (d) the situation where the underlying Si_3N_4 film has been removed by ashing.

Figure 2 is a schematic cross-sectional diagram showing in processing order an example of the process of applying this invention to processing a self-aligning contact. Shown respectively are (a) the situation where the SiO_2 interlayer insulating film has been formed covering two gate electrodes having an Si_xN_y etching-stopper layer, and (b) the situation where a contact hole has been formed while forming sidewalls.

Figure 3 is a schematic cross-sectional diagram showing, in a comparative example of an SRAM's self-aligning contact, the situation where selectivity toward the Si_xN_y etching-stopper layer has declined and the cross-sectional shape of the gate electrodes and sidewalls has deteriorated.

Explanation of Keying Symbols

- 1, 11 ... Silicon substrate
- 2, 12 ... Impurity diffusion region
- 3 ... Underlying Si_3N_4 film
- 4, 19 ... SiO_2 interlayer insulating film
- 5, 20 ... Resist mask
- 6, 21 ... Opening
- 7, 22 ... Contact hole
- 13 ... Gate oxide film
- 16 ... Gate electrode
- 17 ... Si_3N_4 etching-blocker layer
- 18, 19 ... Sidewalls

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-275568

(43) 公開日 平成6年(1994)9月30日

(51) Int.Cl.⁵

H 0 1 L 21/302

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F 9277-4M

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平5-60755

(22) 出願日 平成5年(1993)3月19日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 門村 新吾

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

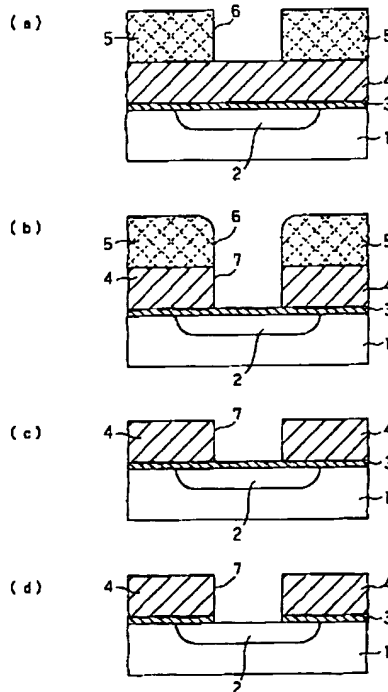
(74) 代理人 弁理士 小池 晃 (外2名)

(54) 【発明の名称】 ドライエッチング方法

(57) 【要約】

【目的】 Si_3N_4 層に対して高選択比を維持しながら SiO_2 層をエッチングする。

【構成】 イオン密度が 10^{11} イオン/ cm^3 以上の高密度プラズマを生成できるドライエッチング装置内で、一般式 C_xF_y 、(ただし、 $y \leq x + 2$) で表されるフルオロカーボン (FC)・ガスを用いる。ECRプラズマ等の高密度プラズマ中ではガスの解離が高度に進行するので、従来のRFプラズマ等では炭素系ポリマーの堆積しか起こらなかった C_xF_y ガスからも効率良く CF^+ が生成し、 SiO_2 層間絶縁膜4を高速エッチングすることができる。一方、上記FCガスのC/F比が大きいので過剰な F^+ が生成せず、 Si_3N_4 下地膜3に対しては高選択性が得られる。逆に Si_3N_4 層をマスクとして SiO_2 層をエッチングした場合には、高いマスク選択性が得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 イオン密度が 10^{11} イオン/cm³以上のプラズマを生成可能なエッチング装置内で、一般式C_xF_y（ただし、x、yは自然数であり、 $y \leq x+2$ の関係を満たす。）で表されるフルオロカーボン系化合物を主体とするエッチング・ガスのプラズマを生成させ、窒化シリコン系材料層の上に形成された酸化シリコン系材料層を選択的にエッチングすることを特徴とするドライエッチング方法

【請求項2】 イオン密度が 10^{11} イオン/cm³以上のプラズマを生成可能なエッチング装置内で、一般式C_xF_y（ただし、x、yは自然数であり、 $y \leq x+2$ の関係を満たす。）で表されるフルオロカーボン系化合物をフルオロカーボン系化合物を主体とするエッチング・ガスのプラズマを生成させ、所定の形状にパターニングされた窒化シリコン系材料層をマスクとして酸化シリコン系材料層のエッチングを行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項3】 前記フルオロカーボン系化合物がヘキサフルオロベンゼンであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のドライエッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体装置の製造分野等において適用されるドライエッチング方法に関し、特に窒化シリコン系材料層と酸化シリコン系材料層との間で選択比を大きく確保しながらエッチングを行う方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 シリコン・デバイスにおける層間絶縁膜の構成材料としては、一般にシリコン化合物層、中でも酸化シリコン（SiO₂；典型的にはx=2）膜が広く用いられている。SiO₂層間絶縁膜のドライエッチングは、時期的にはほぼ64KDRAMの製造あたりから量産ラインでも適用されるようになった成熟した技術である。

【0003】 上記ドライエッチングは、従来よりCHF₃、CF₄/H₂混合系、CF₄/O₂混合系、C₂F₆/CHF₃混合系等、フルオロカーボン系化合物を組成の主体とするエッチング・ガスが用いられてきた。これは、(a)フルオロカーボン系化合物に含まれるC原子がSiO₂層の表面で原子間結合エネルギーの大きいC-O結合を生成し、Si-O結合を切断したり弱めたりする働きがある、(b)SiO₂層の主エッチング種であるCF_x・（典型的にはx=3）を生成できる、さらに(c)エッチング反応系のC/F比（C原子数とF原子数の比）を制御することにより炭素系ポリマーの堆積量を最適化し、レジスト・マスクや下地材料層に対して高選択性が達成できる、等の理由にもとづいている。

【0004】 なお、ここで言う下地材料層とは、主とし

てシリコン基板、ポリシリコン層、ポリサイド膜等のシリコン系材料層を指す。

【0005】 一方、窒化シリコン（Si₃N₄；特にx=3、y=4）もシリコン・デバイスに適用される絶縁膜材料である。Si₃N₄層のドライエッチングにも、基本的にはSiO₂層のエッチングと同様のガス組成が適用される。ただし、SiO₂層がイオン・アシスト反応を主体とする機構によりエッチングされるのに対し、Si₃N₄層はF・を主エッチング種とするラジカル反応機構にもとづいてエッチングされ、エッチング速度もSiO₂層よりも速い。これは、原子間結合エネルギーの大小関係がSi-F（553kcal/mole）>Si-O結合（465kJ/mole）>Si-N結合（440kcal/mole）であることから、ある程度予測できる。

【0006】 なお、原子間結合エネルギーの値には算出方法により若干の差が出るが、ここではR. C. Weast編“Handbook of Chemistry and Physics”，69th ed.（1988年）（CRC Press社刊、米国フロリダ州）に記載のデータを引用した。

【0007】 ところで、シリコン・デバイスの製造工程の中には、SiO₂層とSi₃N₄層との間の高選択エッチングを要する工程が幾つかある。たとえば、SiO₂層上におけるSi₃N₄層のエッチングは、たとえばLOCOS法において素子分離領域を規定するためのパターニング等で行われる。上記エッチングは、パズ・ピーク長を最小限に止めるためにパッド酸化膜（SiO₂層）が薄膜化されている現状では、下地のSiO₂層に対して特に高い選択性を要するプロセスである。

【0008】 また、近年ではデバイスの微細化、複雑化にともなってSi₃N₄層がエッチング・ダメージを防止するためのエッチング停止層として色々な場所に形成されるケースが増えており、Si₃N₄層上でSiO₂層を高選択エッチングする必要も生じている。たとえば、オーバーエッチング時の基板ダメージを低減させるために基板の表面に薄いSi₃N₄層が介在されていたり、いわゆるONO（SiO₂層/Si₃N₄層/SiO₂層）構造を有するゲート絶縁膜が形成されていたり、さらにあるいはゲート電極の表面にSi₃N₄層が積層されている場合には、この上で行われるSiO₂層のエッチングはSi₃N₄層の表面で確実に停止しなければならない。

【0009】 ところで、積層される異なる材料層の間で選択性の高いエッチングを行うためには、一般に両材料層の原子間結合エネルギーの値にある程度の差があることが望ましい。しかし、SiO₂層とSi₃N₄層の場合、Si-O結合とSi-N結合は原子間結合エネルギーの値が比較的近いため、これら両者間の高選択エッチングは本質的に困難である。

3

【0010】従来よりこの選択エッチングを可能とするための技術の開発が各所で進められている。

【0011】ここで、 SiO_2 層上で Si_3N_4 層をエッチングする技術については、幾つか報告がある。たとえば、本発明者は先に特開昭61-142744号公報において、 C/F 比（分子内のC原子数とF原子数の比）が小さい CH_2F_2 等のガスに CO_2 を30~70%のモル比で混合したエッチング・ガスを用いる技術を開示している。 C/F 比の小さいガスは F^+ の再結合によってのみ SiO_2 層のエッチング種である CF_x^+ （特に $x=3$ ）を生成し得るが、この系へ大量の CO^+ を供給して F^+ を捕捉して COF の形で除去すると、 CF_x^+ の生成量が減少して SiO_2 層のエッチング速度が低下する。一方、 Si_3N_4 は F^+ を主エッチング種としてエッチングできるので、 CO_2 の大量添加によって CF_x^+ が減少してもエッチング速度はほとんど変化しない。このようにして、両層の間の選択性が得られるわけである。

【0012】また、Proceeding of Symposium on Dry Process, 第8巻7号, 86~94ページ(1987年)には、ケミカル・ドライエッチング装置に NF_3 と Cl_2 とを供給し、マイクロ波放電により気相中に生成する FCl を利用して SiO_2 上の Si_3N_4 層をエッチングする技術が報告されている。 $\text{Si}-\text{O}$ 結合はイオン結合性を55%含むのに対し、 $\text{Si}-\text{N}$ 結合は30%であり、共有結合性の割合が高くなっている。つまり、 Si_3N_4 層中の化学結合の性質は、単結晶シリコン中の化学結合（共有結合）のそれに近く、 FCl から解離生成した F^+ 、 Cl^+ 等のラジカルによりエッチングされる。一方、 SiO_2 層はこれらのラジカルによってもほとんどエッチングされないで、高選択エッチングが可能となるわけである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】 上述のように、 SiO_2 層の上で Si_3N_4 層を選択エッチングする技術については、幾つかの報告がなされている。これは、両層のエッチング速度を考えるとある意味では当然である。それは、ラジカル反応を主体とする機構により Si_3N_4 をエッチングする過程では、途中で SiO_2 層が露出すれば必然的にエッチング速度は低下するからである。

【0014】しかし、従来の技術にも問題はあつた。たとえば上述の FCl を利用するプロセスでは、ラジカル反応を利用しているために異方性加工が本質的に困難である。

【0015】一方、 Si_3N_4 層の上で SiO_2 層を選択エッチングする技術については、この逆のケースに比べて選択性を確保することが難しいため、報告例も少ない。これは、イオン・アシスト反応を主体とする機構により SiO_2 層をエッチングしていても、その反応系中

4

には必ずラジカルが生成しており、 Si 、 N が露出した時点でこのラジカルにより下地のエッチング速度が上昇してしまうからである。

【0016】最近になって、新しいプラズマ源の採用によりラジカル生成量を低下させた高密度プラズマを用いてこれを実現する技術が提案されている。たとえば、Proceedings of the 43rd Symposium on Semiconductors and Integrated Circuits Technology, p. 54 (1992) には、 C_2H_6 ガスの誘導結合プラズマ (ICP=Induction Coupled Plasma) を用い、LPCVD法により成膜された Si_3N_4 層の上でTEOS-CVD法により形成された SiO_2 層を C_2F_6 (ヘキサフルオロエタン) を用いてエッチングし、ゲート電極に一部重なる接続孔を開口するプロセス例が紹介されている。高密度プラズマ中ではガスの解離が高度に進行するので、 C_2F_6 はほぼイオン式量の小さい CF_x^+ に分解され、これがエッチングに寄与しているものと考えられている。また、このとき堆積する C/F 比の低いフルオロカーボン系ポリマーの中のC原子は、 Si 、 N 中のN原子よりも SiO_2 中のO原子と結合しやすいので、 SiO_2 層の表面では除去されるが、 Si_3N_4 上では堆積する。これが、選択性の達成メカニズムであると考えられている。

【0017】この技術はかなり有望であるが、安定した選択性を得にくいという欠点がある。たとえば、上述のプロセスにおける選択比は、平坦部において無限大、コーナー部では20以上と報告されている。かかる選択性の面内バラつきは、 C_2F_6 の解離が高度に進んだ結果生成する F^+ の寄与によるものと考えられる。そこで本発明は、 Si_3N_4 層に対して安定に高選択比を確保することが可能な SiO_2 層のドライエッチング方法を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】 本発明のドライエッチング方法は、上述の目的に鑑みて提案されるものであり、イオン密度が 10^{11} イオン/ cm^3 以上のプラズマを生成可能なエッチング装置内で、一般式 C_xF_y (ただし、 x 、 y は自然数であり、 $y \leq x+2$ の関係を満たす。) で表されるフルオロカーボン系化合物を主体とするエッチング・ガスのプラズマを生成させ、 Si_3N_4 系材料層の上に形成された SiO_2 系材料層を選択的にエッチングするものである。

【0019】ここで、高密度プラズマとは、従来型のプラズマに比べて電子とガス原子の衝突回数を増やすための何らかの工夫がなされているプラズマのことである。従来型のプラズマとは、たとえば平行平板電極間にRFパワーを印加してグロー放電を起こしたり、導波管へマイクロ波を供給してマイクロ波放電を起こすことにより

5

励起されるものである。これに対し、高密度プラズマは、たとえばマイクロ波電界と磁界の相互作用にもとづく電子サイクロトロン共鳴、あるいはホイッスラー・モードと呼ばれる磁界中のマイクロ波伝搬モード等を利用することにより、ガスの解離を高度に促進し、高いイオン密度を達成したものである。

【0020】かかる 10^{11} イオン/cm³以上のイオン密度を有するプラズマの具体例としては、ECRプラズマ、ヘリコン波プラズマ、ICP (Inductively Coupled Plasma)、TCP (Transformer Coupled Plasma)、ホロー・アノード型プラズマ、ヘリカル共振器プラズマ等が知られている。

【0021】また、上記フルオロカーボン系化合物は、その一般式から自明であるように、不飽和化合物である。この要件は、鎖状あるいは環状のいずれの炭素骨格によっても満たすことができる。しかし、炭素数がある程度多くなれば鎖状の場合には必然的に連続した多重結合あるいは共役多重結合を持たざるを得ず、また環状の場合には共役多重結合、縮合環、多環、スピロ環、環集合等の構造をとることになる。

【0022】かかる要件を満たすフルオロカーボン系化合物の一例としては、テトラフルオロエチレン (C₂F₄)、ヘキサフルオロブタジエン (C₄F₆)、テトラフルオロシクロプロペン (c-C₃F₄)、ヘキサフルオロシクロブテン (c-C₄F₆)、ヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆)、オクタフルオロシクロヘプタトリエン (c-C₇F₈)、オクタフルオロビシクロ [2, 2, 1]ヘプタジエン (C₇F₈)等を挙げることができる。

【0023】本発明はまた、イオン密度が 10^{11} イオン/cm³以上のプラズマを生成可能なエッチング装置内で、一般式C_xF_y (ただし、x, yは自然数であり、 $y \leq x + 2$ の関係を満たす。)で表されるフルオロカーボン系化合物を主体とするエッチング・ガスのプラズマを生成させ、所定の形状にパターニングされたSi₃N₄系材料層をマスクとしてSiO₂系材料層のエッチングを行うものである。

【0024】本発明はさらに、前記フルオロカーボン系化合物としてヘキサフルオロベンゼンを用いるものである。

【0025】

【作用】フルオロカーボン系化合物を主体とするエッチング・ガスを用いてイオン密度 10^{11} イオン/cm³以上の高密度プラズマを形成すると、低圧下でも従来のRFプラズマ等と比べてフルオロカーボン系化合物の解離が進み、大量のCF₃⁺ (しかも、x=1が多い)が効率良く生成する。この豊富なイオンにアシストされながら、シリコン化合物層は実用的な速度でエッチングされる。

6

【0026】しかし、この大量のCF₃⁺に伴って大量のF⁺が生成すると、Si₃N₄層に対する選択性が低下する原因となる。そこで本発明では、プラズマ中に過剰のF⁺が生成しないよう、C原子数に比べてF原子数が少ない化合物、すなわち分子のC/F比が大きいフルオロカーボン系化合物をエッチング・ガスの主成分として用いる。本発明の場合、F原子数yはC原子数xに比べて最大でも2個多いだけであるから、仮に単純化して1分子からx個のCF₃⁺が生成したと考えると、F⁺の生成量は最大でも2個ということになる。

【0027】本発明では、かかるフルオロカーボン系化合物を用いてSi₃N₄層上でSiO₂系材料層をエッチングするので、Si₃N₄層の露出面が高密度のF⁺に曝される虞がない。したがって、下地のSi₃N₄層に対して高い下地選択性が達成されるわけである。この原理は、逆に所定の形状にパターニングされたSi₃N₄層を、その下のSiO₂層のエッチング・マスクとして用いた場合にも全く同じであり、高いマスク選択性が達成される。

【0028】ところで、本発明では上記フルオロカーボン系化合物として特にヘキサフルオロベンゼン (C₆F₆)を提案するが、これは安定性、入手の容易さ、C/F比の値が1と大きいこと等を考慮したからである。従来からC₆F₆をSiO₂系材料層のエッチングに用いようとする試みはあった。しかし、たとえば特公平1-60938号公報にも記載されているように、これ単独ではCF₃⁺やCF₂⁺が大量に生成してポリマーを形成してしまい、エッチング反応の進行が阻害されるため、実用にはならなかった。上記公報では、炭素系ポリマーの重合を阻害するために、CF₄を1:1の割合でC₆F₆に混合したガスを用いて、この問題を解決している。

【0029】しかし、本発明によれば、C₆F₆は高密度プラズマ中でCF₃⁺にまで解離されるので、炭素系ポリマーを過剰に堆積させる虞がない。しかも、仮に炭素-炭素間の結合が全て開裂して1分子から6個のCF₃⁺が生成したとすれば、F⁺は理論上は1個も生成しないことになり、Si₃N₄系材料層に対して高い選択性が達成される。また、かかる高選択エッチングを単独ガス系で実現できる点も、安定性、制御性等の観点から本発明のメリットと言える。

【0030】

【実施例】以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

【0031】実施例1

本実施例は、有磁場マイクロ波プラズマ・エッチング装置とC₆F₆ガスを用い、Si₃N₄下地膜を有するSiO₂層間絶縁膜をエッチングしてコンタクト・ホールを開口した例である。このプロセスを、図1を参照しながら説明する。

【0032】まず、図1(a)に示されるように、予め不純物拡散領域2の形成されたシリコン基板1上にたとえばLPCVD法により層厚10nmのSi₃N₄下地膜3を形成し、続いて常圧CVD法により層厚1000nmのSiO₂層間絶縁膜4を形成した。さらに、上記SiO₂層間絶縁膜4の上には、ノボラック系ポジ型フォトリソレジストTSMR-V3(東京応化工業社製;商品名)を塗布し、i線リソグラフィおよびアルカリ現像により直径0.35μmの開口部6を有するレジスト・マスク5を形成した。

【0033】このウェハを有磁場マイクロ波プラズマ・エッチング装置のウェハ載置電極上にセットし、一例として下記の条件でSiO₂層間絶縁膜4をエッチングした。

C ₆ F ₆ 流量	20	SCCM
ガス圧	0.65	Pa
マイクロ波パワー	1500	W(2.45GHz)
RFバイアス・パワー	200	W(800kHz)
ウェハ載置電極温度	20	℃

【0034】ここでは、大きなマイクロ波パワーを投入してECR放電を行うことにより、C₆F₆の解離が進行し、イオン密度が10¹¹イオン/cm³のオーダーの高密度プラズマが生成された。上記エッチング過程では、この高密度プラズマ中に生成する大量のCF⁺によりSiO₂層間絶縁膜4のエッチングが高速に進行した。また、下地のSi₃N₄下地膜3が露出した時点でも、プラズマ中に過剰なF⁺が生成していないために、Si₃N₄下地膜3に対して約30の高い選択性が達成された。もちろん、レジスト・マスク5に対する選択性も良好であった。

【0035】このエッチングの結果、図1(b)に示されるような異方性形状を有するコンタクト・ホール7が、その底面に露出するSi₃N₄下地膜3を浸蝕することなく形成された。

【0036】なお、このエッチング過程では、図示されない炭素系ポリマーの堆積が若干みられる。この炭素系ポリマーは、SiO₂層間絶縁膜4のエッチング領域ではここからスパッタ・アウトされるO原子の燃焼作用により除去されるが、レジスト・マスク5の表面保護、コンタクト・ホール7の側壁面の保護、Si₃N₄下地膜3の露出面の保護等に寄与した。

【0037】しかし、いずれにしても従来のように大量の炭素系ポリマーを堆積させてエッチングの進行を妨げることにはなった。

【0038】次に、ウェハをプラズマ・アッシング装置に移設して通常の条件でO₂プラズマ・アッシングを行い、図1(c)に示されるようにレジスト・マスク5を除去した。このとき、表面保護や側壁保護に寄与してい

た図示されない炭素系ポリマーも同時に除去された。

【0039】最後に、ウェハを熱リン酸水溶液に浸漬し、図1(d)に示されるように、コンタクト・ホール4aの底部に露出したSi₃N₄下地膜3を分解除去した。以上のプロセスにより、不純物拡散領域2にダメージを発生させたり、またパーティクル汚染を惹起させることなく、良好な異方性形状を有するコンタクト・ホール7を形成することができた。

【0040】実施例2

10 本実施例は、SRAMの負荷用TFTのゲート電極と記憶ノードの接続を形成するためのセルフアライン・コンタクト加工において、SiO₂層間絶縁膜のエッチングをICPエッチング装置とC₆F₆ガスを用いて行った例である。このプロセスを、図2を参照しながら説明する。

【0041】本実施例でエッチング・サンプルとして用いたウェハの構成を、図2(a)に示す。このウェハは、シリコン基板11上に表面酸化によりゲート酸化膜13が形成され、この上でドライバ・トランジスタの2本のゲート電極16、およびこのゲート電極16を後工程のエッチングから保護するためのSi₃N₄エッチング停止層17がパターニングされたものである。上記ゲート電極16は、下層側から順にポリシリコン層14とタングステン・シリサイド(WSi₂)層15とが積層されたタングステン・ポリサイド膜からなるものである。ゲート電極16の両側壁面には、SiO₂からなるサイドウォール18がエッチバック・プロセスにより形成されており、前述のゲート電極16およびサイドウォール18をマスクとした2回のイオン注入により、LD構造を有する不純物拡散領域12がシリコン基板11内に形成されている。

【0042】このウェハの全面には、たとえばCVD法によりSiO₂層間絶縁膜19が堆積され、さらにこの上にレジスト・マスク20が所定のパターンに形成されている。上記レジスト・マスク20は、両ゲート電極16上に一部かかり、これらの中間領域をカバーする開口部21を有している。この開口部21の内部で、SiO₂層間絶縁膜19をエッチングして不純物拡散領域に至るコンタクト・ホールを形成するわけである。

40 【0043】上記ウェハをICPエッチング装置にセットし、一例として下記の条件でSiO₂層間絶縁膜19のエッチングを行った。

C ₆ F ₆ 流量	20	SCCM
ガス圧	0.65	Pa
RF電源パワー	2500	W(2kHz)
RFバイアス・パワー	50	W(1.8MHz)
ウェハ載置電極温度	0	℃

この過程では、ICPエッチング装置内で生成されるイオン密度10¹²イオン/cm³のオーダーの高密度プラ

ズマにより、 CF^+ を主エッチング種とした SiO_2 層間絶縁膜 19 のエッチングが進行した。この結果、図 2 (b) に示されるように、 SiO_2 層間絶縁膜 19 およびゲート SiO_2 膜 13 の一部が除去されてコンタクト・ホール 22 が完成し、先に形成されていたサイドウォール 18 の上にはさらに別のサイドウォール 19a が形成された。

【0044】ところで、このエッチングの途中では Si 、 N 、エッチング停止層 17 が露出するが、このとき実施例 1 でも上述したように C_2F_6 の解離が高度に進んでプラズマ中の F^+ 生成量が少なくなっているため、 Si 、 N 、エッチング停止層 17 に対する選択比が十分に大きく維持された。したがって、かかる高段差上の SiO_2 層間絶縁膜 19 のエッチングも、ゲート電極 16 にダメージを及ぼすことなく行うことができた。

【0045】比較例

ここでは、実施例 2 に対する比較例として、ICP エッチング装置と C_2F_6 ガスを用いて同様の SRAM のセルフアライン・コンタクトを形成した例について説明する。まず、図 2 (a) に示したものと同じウェハを ICP エッチング装置にセットし、一例として下記の条件で SiO_2 層間絶縁膜 19 をエッチングした。

【0046】

C_2F_6 流量 20 SCCM
 ガス圧 0.65 Pa
 RF 電源パワー 2500 W (2 kHz)
 RF バイアス・パワー 50 W (1.8 MHz)
 ウェハ載置電極温度 0 °C

【0047】この過程では、 C_2F_6 の高効率解離により CF^+ がもちろん生成するが、同時に大量の F^+ も生成し、この F^+ がエッチング途中で露出した Si 、 N 、エッチング停止層 17 に対する選択性を低下させた。この結果、図 3 に示されるように、浸触された Si 、 N 、エッチング停止層 17 b の下層側でゲート電極 16 も一部浸触され、サイドウォール 18 b、19 b の断面形状もそれぞれ劣化した。

【0048】以上、本発明を 2 例の実施例にもとづいて説明したが、本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。たとえば、上述の実施例では、高密度プラズマとして ECR プラズマおよび ICP を採り上げたが、ホローアノード型プラズマでは 10^{12} イオン/cm³、ヘリコン波プラズマや TCP では $10^{12} \sim 10^{13}$ イオン/cm³ のオーダーのイオン密度が報告されており、これらのいずれを利用しても良い。

【0049】エッチング・ガスとして用いられるフルオロカーボン系化合物 C_xF_y も、上述の C_2F_6 に限られるものではなく、 $y \leq x + 2$ の条件を満たす限りにおいて合成が可能であり、安定に存在でき、しかも容易に気体状態でエッチング・チャンバ内へ導入できる化合物

であれば、いかなるものであっても構わない。

【0050】また、本発明が適用可能な他のプロセス例としては、ONO ($SiO_2/Si_3N_4/SiO_2$) 構造を有する 3 層型ゲート絶縁膜における SiO_2 層間絶縁膜のエッチバック等がある。これは、ゲート電極の側壁面にサイドウォールを形成するためのプロセスであるが、この場合、エッチバックをゲート絶縁膜中間の Si_3N_4 膜上で高選択比をもって停止させることができる。

【0051】この他、エッチング条件、使用するエッチング装置等が適宜変更可能であることは、言うまでもない。

【0052】

【発明の効果】以上の説明からも明らかなように、本発明のドライエッチング方法によれば、従来は炭素系ポリマーの生成量が多すぎてエッチングには使用できなかった C/F 比の大きいフルオロカーボン系化合物を高密度プラズマ中で高度に解離させ、エッチング・ガスの主成分として用いることができるようになる。しかも、かかるフルオロカーボン系化合物は、放電解離条件下でも F^+ を過剰に生成しないため、 SiO_2 系材料層と Si_3N_4 系材料層との間の選択エッチングを高選択比をもって実現することが可能となる。

【0053】したがって、本発明は微細なデザイン・ルールにもとづいて設計され、高集積度および高性能を有する半導体装置の製造に好適であり、その産業上の価値は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明をコンタクト・ホール加工に適用したプロセス例をその工程順にしたがって示す模式的断面図であり、(a) は SiO_2 層間絶縁膜上にレジスト・マスクが形成された状態、(b) は SiO_2 層間絶縁膜のエッチングが Si_3N_4 下地膜上で停止した状態、(c) はレジスト・マスクがアッシングにより除去された状態、(d) はコンタクト・ホール内の Si_3N_4 下地膜が選択的に除去された状態をそれぞれ表す。

【図 2】本発明を SRAM のセルフアライン・コンタクト加工に適用したプロセス例をその工程順にしたがって示す模式的断面図であり、(a) は表面に Si_3N_4 エッチング停止層を有する 2 本のゲート電極を被覆して SiO_2 層間絶縁膜が形成され、さらにレジスト・マスクが形成された状態、(b) はサイドウォールが形成されながらコンタクト・ホールが形成された状態をそれぞれ表す。

【図 3】SRAM のセルフアライン・コンタクトの比較例において、 Si_3N_4 エッチング停止層に対する選択性が低下し、ゲート電極とサイドウォールの断面形状が劣化した状態を示す模式的断面図である。

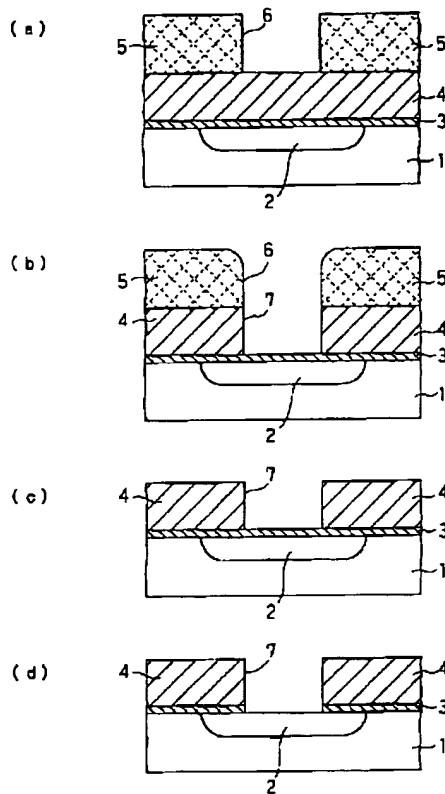
【符号の説明】

1, 11 ……シリコン基板

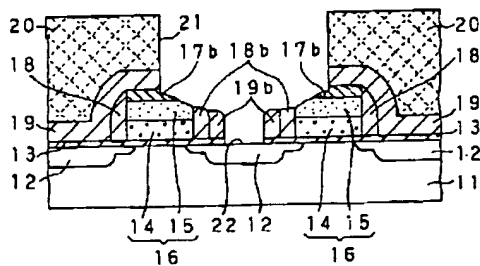
11

- 2, 12 ... 不純物拡散領域
 3 ... Si_3N_4 下地膜
 4, 19 ... SiO_2 層間絶縁膜
 5, 20 ... レジスト・マスク
 6, 21 ... 開口部

【図1】



【図3】



12

- 7, 22 ... コンタクト・ホール
 13 ... ゲート酸化膜
 16 ... ゲート電極
 17 ... Si_3N_4 エッチング停止層
 18, 19 ... サイドウォール

【図2】

